

VŠB – Technická Univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Snížení spotřeby energie rodinného domu

Reducing Energy Consumption in Detached House

Student:

Bc. Lukáš Mosler

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava 2013

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě: 20. 5. 2013

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 21/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užití díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požádat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20. 5. 2013

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Lukáš Mosler

Adresa trvalého pobytu autora práce: Karla Čapka 14, Krnov, 794 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MOSLER, L. *Snížení spotřeby energie rodinného domu : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2013, 80 s. Vedoucí práce: Vrtek, M.

Diplomová práce se zabývá návrhem úspor energie rodinného domu. V úvodu jsou stanoveny tepelné ztráty domu, na základě kterých, jsou navrženy úsporná opatření ke snížení těchto ztrát. Jako druhý bod byl návrh ohřevu teplé vody pro domácnost pomocí solárních kolektorů. Dle výpočtů kolektory pokryjí spotřebu teplé vody od dubna do září. Tyto úspory jsou vyhodnoceny jak z ekonomického tak i z environmentálního hlediska. V konstrukčním návrhu se zabýváme návrhem 600 litrové akumulční nádoby, která je otápěná jak energií solárního okruhu, tak i okruhu kotlového. V závěru práce je ověřen výpočet ohřevu vody v akumulční nádobě pomocí programu ANSYS R14.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

MOSLER, L. *Reducing Energy Consumption in Detached House : Diploma Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical engineering, Department of Energetics, 2013, 80 p. Thesis head: Vrtek, M.

This master thesis investigates the design of energy savings for a family house. Heat losses of the house, on which the design of the saving measures used in order to lower this losses, are started in the introduction section. Water heating system, based on solar collectors, for the household is introduced as a second point of the thesis. According to calculations the collectors will cover the usage of warm water from April to September. These savings are evaluated both from economical and environmental point of view. In the construction proposal the thesis investigates the design of 600 litres accumulation container, which is heated both from the solar energy and boiler circuits. In the conclusion section the calculations of the water heating in the accumulation container is done using ANSYS R14 software application.

OBSAH:

1. ÚVOD.....	- 12 -
2. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT DOMU.....	- 13 -
2.1. Výpočet součinitele prostupu tepla	- 13 -
2.2. Výpočet tepelných ztrát dle ochlazovaných ploch	- 15 -
2.3. Výpočet tepelných ztrát s přírážkami	- 16 -
2.4. Výpočet tepelné ztráty větráním.....	- 17 -
2.5. Celkové tepelné ztráty	- 18 -
3. NÁVRH ENERGETICKÝCH ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ	- 19 -
3.2. Výpočet tepelných ztrát.....	- 20 -
3.3. Výpočet tepelných ztrát s přírážkami	- 22 -
3.4. Výpočet tepelné ztráty větráním.....	- 22 -
3.5. Celkové tepelné ztráty po zateplení objektu.....	- 23 -
3.6. Zhodnocení úsporných opatření	- 23 -
3.7. Ekonomické zhodnocení zateplení objektu	- 24 -
4. VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE PRO OHŘEV TEPLÉ VODY.....	- 29 -
4.1. Výpočet měsíčních potřeb tepla pro přípravu TV	- 30 -
4.2. Stanovení množství skutečného solárního záření dopadajícího na plochu dané orientace	- 30 -
4.3. Volba typu kolektoru – stanovení rovnice účinnostní charakteristiky	- 31 -
4.4. Návrh kolektorové plochy	- 34 -
4.5. Určení energetické bilance pro jednotlivé měsíce.....	- 35 -
4.6. Stanovení maximálního celoročního zisku solárního systému.....	- 36 -
4.7. Ekonomické zhodnocení solárního systému	- 37 -
5. NÁVRH AKUMULAČNÍ NÁDOBY	- 39 -
5.1. Popis systému	- 39 -
5.2. Zapojení systému.....	- 40 -

5.3.	Schéma zapojení	- 41 -
5.4.	Návrh akumulční nádoby	- 42 -
5.5.	Výsledný návrh akumulční nádoby dle předchozích výpočtů	- 51 -
5.6.	Stanovení průměru potrubí solárního okruhu	- 52 -
5.7.	Výpočet tlakových ztrát solárního okruhu	- 52 -
5.8.	Návrh čerpadla solárního okruhu	- 54 -
5.9.	Návrh expanzní nádoby	- 55 -
5.10.	Stanovení doby ohřevu vody v akumulční nádobě dle programu ANSYS R14.....	- 58 -
6.	ENVIRONMENTÁLNÍ ZHODNOCENÍ.....	- 62 -
6.1.	Stanovení emisí produkovaných látek	- 62 -
7.	ZÁVĚR	- 64 -
	SEZNAM LITERATURY.....	- 66 -
	SEZNAM OBRÁZKŮ	- 67 -
	SEZNAM TABULEK.....	- 68 -
	SEZNAM PŘÍLOH.....	- 69 -
	SEZNAM VÝKRESŮ.....	- 69 -
	PŘÍLOHY.....	- 70 -

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A INDEXŮ

c_{pal}	cena za kilogram paliva	[Kč]
c_{vzd}	měrné teplo vzduchu	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
c_{vod}	měrná tepelná kapacita vody	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
d	délka otopného období	[dny]
d_1	vnitřní průměr trubky	[m]
d_2	vnější průměr trubky	[m]
d_i	vnitřní průměr potrubí	[m]
g	gravitační zrychlení	[m ² .s ⁻²]
h	výška teplotnosného média v solárním okruhu	[m]
h_s	vzdálenost expanzní nádoby od nejvyššího místa soustavy	[m]
i	součinitel provzdušnosti	[m ³ .s ⁻¹ /m.Pa ^{0,67}]
k	součinitel prostupu tepla	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
k_c	součinitel prostupu tepla všech stěn místností	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
k_{db}	součinitel prostupu tepla balkónovými dveřmi	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
$k_{db,u}$	součinitel prostupu tepla balkónovými dveřmi po výměně	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
k_{dd}	součinitel prostupu tepla domovními dveřmi	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
$k_{dd,u}$	součinitel prostupu tepla domovními dveřmi po výměně	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
k_l	součinitel prostupu tepla akumulční nádoby	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
k_o	součinitel prostupu tepla okny	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
$k_{o,u}$	součinitel prostupu tepla okny po výměně	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
$k_{stě}$	součinitel prostupu tepla stěnami	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
k_p	součinitel prostupu tepla podlahou	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
$k_{p,u}$	součinitel prostupu tepla podlahou po úsporných opatřeních	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
$k_{stě,u}$	součinitel prostupu tepla stěnami po úsporných opatřeních	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
k_{str}	součinitel prostupu tepla stropem	[W.m ⁻² .K ⁻¹]

$k_{str,u}$	součinitel prostupu tepla stropem po úsporných opatřeních	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
l	délka spár otevíratelných částí oken a venkovních dveří	$[m]$
$l_{pč}$	délka přímých částí potrubí	$[m]$
l_{sv}	délka solárního výměníku	$[m]$
m	spotřeba vody v domácnosti za měsíc	$[kg]$
m_{pal}	množství paliva	$[kg.rok^{-1}]$
n	počet kolektorů	$[ks]$
p_1	přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
p_2	přirážka na urychlení zátoku	$[-]$
p_e	koncový přetlak	$[Pa]$
p_s	statický tlak v potrubí solárního okruhu	$[Pa]$
p_{si}	tlak na pojistném ventilu	$[Pa]$
p_{ST}	přetlak membránové expanzní nádoby	$[Pa]$
t_0	střední teplota v době slunečního svitu	$[^{\circ}C]$
t_1	teplota na vstupu do solární části výměníku	$[^{\circ}C]$
t_2	teplota na výstupu ze solární části výměníku	$[^{\circ}C]$
t_e	výpočtová venkovní teplota	$[^{\circ}C]$
t_{es}	průměrná teplota během otopného období	$[^{\circ}C]$
t_i	výpočtová vnitřní teplota	$[^{\circ}C]$
t_{is}	vnitřní výpočtová teplota	$[^{\circ}C]$
t_k	výpočtová teplota kolektoru	$[^{\circ}C]$
t_{pv}	výpočtová teplota půdní výstavby	$[^{\circ}C]$
t_{s1}	střední teplota vnitřního povrchu solárního výměníku	$[^{\circ}C]$
t_{s2}	teplota vnějšího povrchu trubky	$[^{\circ}C]$
$t_{stř}$	střední teplota v solárním výměníku	$[^{\circ}C]$
t_u	určovací teplota	$[^{\circ}C]$
t_{v1}	výpočtová teplota vody ve vnější části akumulární nádoby	$[^{\circ}C]$
t_{vs}	teplota vody na vstupu do akumulární nádoby	$[^{\circ}C]$

t_{vsL}	výpočtová teplota vody v létě	[°C]
t_{vsZ}	výpočtová teplota vody v zimě	[°C]
w	rychlost solární kapaliny v potrubí	[m. s ⁻¹]
z	počet kolektorů	[ks]
A	redukováná teplota kolektoru	[K. m ² . W ⁻¹]
B	charakteristické číslo budovy	[Pa ^{0,67}]
CIN	celkové investiční náklady úsporných opatření	[Kč]
CIN_K	celkové investiční náklady solárního systému	[Kč]
D	vytápěcí denostupně	[K. dny]
DN	návratnost investice úsporných opatření	[Kč]
DN_K	návratnost investice solárního systému	[Kč]
E_f	emisní faktor	[kg. t ⁻¹]
E_Z	emise produkovaných látek	[kg. rok ⁻¹]
Gr	Grashofovo kritérium	[-]
H_d	dopravní výška čerpadla	[m]
L	délka solárního výměníku	[m]
M	charakteristické číslo místnosti	[-]
M_{TV}	hmotnost paliva pro ohřev vody	[t]
M_{VYT}	hmotnost paliva pro vytápění objektu	[t]
N	počet pracovních dní soustavy	[dny]
Nu	Nuseltovo kritérium	[-]
Pr	Prandtlovo číslo	[-]
Q	tepelný zisk solárního kolektoru	[kWh]
Q_0	tepelná ztráta	[W]
$Q_{0,c}$	celková tepelná ztráta bez přírážek	[W]
$Q_{0,c,u}$	celková tepelná ztráta bez přírážek po úsporných opatřeních	[W]
$Q_{0,d}$	tepelná ztráta dveří	[W]
$Q_{0,db}$	tepelná ztráta balkónových dveří	[W]
$Q_{0,dd}$	tepelná ztráta venkovních dveří	[W]
$Q_{0,d,u}$	tepelná ztráta dveří po výměně	[W]

$Q_{0,db,u}$	tepelná ztráta balkónových dveří po výměně	[W]
$Q_{0,dd,u}$	tepelná ztráta venkovních dveří po výměně	[W]
$Q_{0,o}$	tepelná ztráta oken	[W]
$Q_{0,p}$	tepelná ztráta podlahy	[W]
$Q_{0,s}$	tepelná ztráta stěn	[W]
$Q_{0,str}$	tepelná ztráta stropu	[W]
$Q_{0,o,u}$	tepelná ztráta oken po výměně	[W]
$Q_{0,p,u}$	tepelná ztráta podlahy po úsporných opatřeních	[W]
$Q_{0,s,u}$	tepelná ztráta stěn po úsporných opatřeních	[W]
$Q_{0,str,u}$	tepelná ztráta stropu po úsporných opatřeních	[W]
Q_c	celková tepelná ztráta s přírážkami	[W]
$Q_{c,u}$	celková tepelná ztráta s přírážkami po úsporných opatřeních	[W]
Q_i^r	výhřevnost paliva	[MJ.kg ⁻¹]
Q_k	měrný tepelný zisk kolektoru	[kWh.m ⁻²]
Q_{max}	maximální celoroční tepelný zisk kolektoru	[kWh]
\dot{Q}_{max}	maximální měrný celoroční tepelný zisk kolektoru	[kWh]
$Q_{potř}$	potřebné množství tepla pro solární ohřev teplé vody v zásobníku	[W]
Q_{skut}	skutečný celoroční tepelný zisk kolektoru	[kWh]
\dot{Q}_{skut}	skutečný měrný celoroční tepelný zisk kolektoru	[kWh]
$Q_{skut,k}$	skutečné solární záření dopadající na plochu dané orientace	[kWh.m ⁻²]
Q_{teor}	teoreticky možná energie dopadající na plochu dané orientace	[kWh.m ⁻²]
Q_{vyt}	celková roční potřeba tepla po úsporných opatřeních	[GJ.rok ⁻¹]
$Q_{vyt,r,př}$	potřeba tepla před úspornými opatřeními	[GJ.rok ⁻¹]
$Q_{vyt,r,po}$	potřeba tepla po úsporných opatřeních	[GJ.rok ⁻¹]
$Q_{vyt,r,u}$	roční úspora tepla	[GJ.rok ⁻¹]
Q_P	tepelná ztráta s přírážkami	[W]

Q_S	skutečná měsíční spotřeba tepla pro přípravu teplé vody	[kWh]
Q_T	teoretická měsíční spotřeba tepla pro přípravu teplé vody	[kWh]
$Q_{TV,d}$	denní potřeba tepla pro ohřev vody	[kWh. den ⁻¹]
$Q_{TV,r}$	roční potřeba tepla pro ohřev vody	[GJ. rok ⁻¹]
Q_V	tepelná ztráta větráním	[W]
$Q_{V,u}$	tepelná ztráta větráním po úsporných opatřeních	[W]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
S	plocha	[m ²]
S_{db}	plocha balkónových dveří	[m ²]
S_{dd}	plocha domovních dveří	[m ²]
S_{kol}	plocha kolektoru	[m ²]
S'_{kol}	přepočet plochy kolektoru na m ²	[m ²]
S_o	plocha oken	[m ²]
S_p	plocha podlahy	[m ²]
$S_{stě}$	plocha stěny	[m ²]
S_{str}	plocha stropu	[m ²]
V	objem vody	[l]
V_2	zvětšení objemu kapaliny při zahřátí	[l]
V_A	objem kapaliny v solárním okruhu	[l]
V_K	objem kapaliny vakuového kolektoru	[l]
V_N	jmenovitý objem expanzní nádoby	[l]
$V_{N,C}$	celkový objem expanzní nádoby	[l]
V_P	vodní objem 1 m trubky solárního potrubí	[l]
V_{sv}	vodní objem 1 m trubky solárního výměníku	[l]
V_V	bezpečnostní množství vody	[l]
Z	roční úspora za energie u úsporných opatřeních	[Kč]
Z_K	roční úspora za energie u solárního systému	[Kč]
α	součinitel přestupu tepla	[W. m ⁻² . K ⁻¹]
α_1	lineární součinitel tepelných ztrát kolektoru	[W. K ⁻¹ . m ⁻²]
α_2	kvadratický součinitel tepelných ztrát kolektoru	[W. K ⁻¹ . m ⁻²]
α_e	součinitel prostupu tepla z vnějšího povrchu výměníku do vnější části	

akumulační nádoby		$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
a_i	součinitel prostupu tepla z teplotního média na vnitřní povrch solárního výměníku	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
β	součinitel objemové roztažnosti	$[K^{-1}]$
Δp_A	tlaková ztráta armatur a kolen	$[Pa]$
Δp_c	celková tlaková ztráta solárního okruhu	$[Pa]$
Δp_k	tlaková ztráta solárního kolektoru	$[Pa]$
$\Delta p_{pč}$	tlaková ztráta přímých částí potrubí	$[Pa]$
Δp_{sv}	tlaková ztráta solárního výměníku	$[Pa]$
Δt_s	střední logaritmický spád	$[^{\circ}C]$
ΔT	diference teplot	$[^{\circ}C]$
ε	opravný součinitel dle typu staveb a jejich konstrukce	$[-]$
ε_l	opravný součinitel zahrnující vliv délky	$[-]$
ε_t	teplotní součinitel	$[-]$
ε_R	opravný součinitel pro proudění tekutiny v kolenech a hadech	$[-]$
η	účinnost kolektoru	$[-]$
η_0	optická účinnost kolektoru	$[-]$
η_{0p}	účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy	$[-]$
η_k	účinnost kotle	$[-]$
η_r	účinnost rozvodu vytápění	$[-]$
λ	měrná tepelná vodivost vody	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
λ_{Cu}	měrná tepelná vodivost mědi	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
ν	kinematická viskozita	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
ρ_v	hustota vody	$[kg \cdot m^{-3}]$
ρ_{sk}	hustota solární kapaliny	$[kg \cdot m^{-3}]$
τ	čas k ohřátí vody v akumulační nádobě	$[h]$
τ_{teor}	teoretická doba slunečního svitu	$[h]$
τ_{rel}	relativní doba slunečního svitu	$[h]$

1. ÚVOD

V poslední době lidé začínají řešit otázku úspory energií. Snaží se zateplovat budovy, pořizovat okna a dveře s lepším součinitelem prostupu tepla, využívají zařízení s lepší účinností nebo tuto účinnost zvyšovat, a také se snaží využívat obnovitelné zdroje energie.

Je to dáno převážně tím, že ceny energií každoročně narůstají. Převážná část, ne-li všechna energie, ať už se jedná o tepelnou či elektrickou, je transformována z chemické energie fosilních paliv. Spotřeba těchto paliv každoročně narůstá a jejich spalováním se uvolňuje do ovzduší velké množství nebezpečných látek.

S velkým energetickým boomem, jenž nedávno započal v rozvojových zemích jako je například Čína, Indie i další státy asijského kontinentu, je tato situace ještě vážnější. Poptávka po fosilních palivech je tak velká, že velkým exportérům jako je například Austrálie se nevypálí dovážet uhlí ze svého území až do Evropy a tyto zásoby tak končí v na území již zmíněných rozvojových států. I Čína jenž byla hlavním světovým exportérem černého uhlí, již nevyváží tak velké množství paliva jak tomu bylo ještě do nedávna, ale snaží se využívat vytěžené uhlí pro svou potřebu.

Takhle bychom mohli pokračovat dále, až bychom se dostali k naší zemi, kde převážná část vyrobené energie pochází z vytěženého hnědého uhlí. Toto uhlí se u nás i těží, ale vyřešení otázky prolomení těžebních limitů je zatím v nedohlednu, i proto lidé začínají uvažovat o již zmíněných úsporných ekonomických i ekologických opatřeních.

V této práci se tedy budu zabývat energetickými úspornými opatřeními vhodnými pro rodinný dům.

2. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT DOMU

Výpočet je stanoven dle normy ČSN 06 0210, který mi byl doporučen vedoucím diplomové práce. Tato norma stanovuje postup výpočtu tepelných ztrát prostupem stěnami a tepelných ztrát infiltrací všech druhů budov jako podkladu pro dimenzování všech soustav ústředního vytápění a jejich součástí. Zde bych chtěl podotknout, že tento výpočet se již nepoužívá a je tedy jen orientační, ale velmi se blíží skutečnému stavu. V dnešní době se pro tento výpočet používají nejrůznější počítačové programy, se kterými jsem se sice setkal, ale jejich studium by zabralo velmi mnoho času.

Materiál	Tloušťka [mm]	Měrná tepelná vodivost [W/m.K]
<i>stěna</i>		
Vnější omítka - vápenná	50	0,880
Pálená cihla – cihelná hmota	300	0,650
Vnitřní omítka	50	0,880
<i>strop</i>		
Omítka - vápenná	10	0,880
Dřevo	20	0,220
Izolace - Rockwool	10	0,036

tab. 1 vlastnosti materiálů

2.1. Výpočet součinitele prostupu tepla

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} [W/m^2 \cdot K]$$

k ... součinitel prostupu tepla

α ... součinitel přestupu tepla

l ... tloušťka materiálu

λ ... měrná tepelná vodivost

Součinitel přestupu tepla volím dle normy ČSN 06 0210 pro vnitřní teplotu 22°C a výpočtovou teplotu -13°C následovně:

$$\alpha_1 = 8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\alpha_2 = 22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

2.1.1. Součinitel prostupu tepla stěny

$$k_{stě} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,05}{0,880} + \frac{0,3}{0,650} + \frac{0,05}{0,880} + \frac{1}{22}}$$

$$k_{stě} = 1,341 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

2.1.2. Součinitel prostupu tepla podlahou

Dle normy ČSN 06 0210 pro podlahy bez tepelné izolace, volím součinitel prostupu tepla podlahou $k_p = 1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

2.1.3. Součinitel prostupu tepla stropem

$$k_{str} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,880} + \frac{0,02}{0,220} + \frac{0,01}{0,036} + \frac{1}{22}}$$

$$k_{str} = 0,328 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

2.1.4. Součinitel prostupu tepla okny

Dle normy ČSN 06 0210 pro dřevěná okna jednoduchá se zdvojeným sklem a mezerou větší než 10 mm, volím součinitele prostupu tepla okny $k_o = 3,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

2.1.5. Součinitel prostupu tepla dveřmi

Dle normy ČSN 06 0210 pro dřevěné dveře domovní volím součinitele prostupu tepla $k_{dd} = 4,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, a pro plastové balkónové dveře jednoduché s dvojitou skleněnou výplní $k_{db} = 4,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

2.2. Výpočet tepelných ztrát dle ochlazovaných ploch

$$Q_0 = k \cdot S \cdot (t_i - t_e) [W]$$

Q_0 ... tepelná ztráta

S ... plocha

t_i ... výpočtová vnitřní teplota $t_i = 22^\circ\text{C}$

t_e ... výpočtová venkovní teplota $t_e = -15^\circ\text{C}$

2.2.1. Tepelná ztráta stěn

$$Q_{0,s} = k_{stě} \cdot S_{stě} \cdot (t_i - t_e)$$

$$Q_{0,s} = 1,341.270,27 \cdot (22 - (-15))$$

$$Q_{0,s} = 13\,410\,W$$

2.2.2. Tepelná ztráta podlahy

$$Q_{0,p} = k_p \cdot S_p \cdot (t_i - t_e)$$

$$Q_{0,p} = 1,2.132,80 \cdot (22 - 5)$$

$$Q_{0,p} = 2\,709$$

Venkovní teplotu zateplených podlah volím dle ČSN 06 0210 $t_p = -5^\circ\text{C}$.

2.2.3. Tepelná ztráta stropu

$$Q_{0,str} = k_{str} \cdot S_{str} \cdot (t_i - t_{pv})$$

$$Q_{0,str} = 0,328.132,80 \cdot (22 - 16)$$

$$Q_{0,str} = 261\,W$$

Při venkovní výpočtové teplotě $t_e = -15^\circ\text{C}$, je teplota na půdní výstavbě $t_{pv} = 16^\circ\text{C}$.

2.2.4. Tepelná ztráta oken

$$Q_{0,o} = k_o \cdot S_o \cdot (t_i - t_e) 1\,253\,W$$

$$Q_{0,o} = 3,3 \cdot 10,26 \cdot (22 - (-15))$$

$$Q_{0,o} = 1\,253\,W$$

2.2.5. Tepelná ztráta dveří

$$Q_{0,d} = Q_{0,dd} + Q_{0,db}$$

$$Q_{0,d} = k_d \cdot S_{dd} \cdot (t_i - t_e) + k_d \cdot S_{db} \cdot (t_i - t_e)$$

$$Q_{0,d} = 4,15 \cdot 4 \cdot (22 - (-15)) + 4,71 \cdot 8 \cdot (22 - (-15))$$

$$Q_{0,d} = 1\,132\,W$$

$Q_{0,dd}$... tepelná ztráta venkovních dveří [W]

$Q_{0,db}$... tepelná ztráta balkónových dveří [W]

2.2.6. Celková tepelná ztráta bez přírážek

$$Q_{0,c} = Q_{0,stě} + Q_{0,p} + Q_{0,str} + Q_{0,o} + Q_{0,d}$$

$$Q_{0,c} = 18\,765\,W$$

2.3. Výpočet tepelných ztrát s přírážkami

$$Q_P = Q_{0,c} \cdot (1 + p_1 + p_2) [W]$$

p_1 ... přírážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí

p_2 ... přírážka na urychlení zátoku

Přírážka na vyrovnání chladných stěn p_1 závisí dle ČSN 06 0210 na průměrném součiniteli prostupu tepla všech stěn místnosti k_c , který se vypočte ze vztahu:

$$p_1 = 0,06. k_c = p_1 = 0,06. \frac{Q_{0,c}}{\sum S. (t_i - t_e)}$$

$$p_1 = 0,06. \frac{18\,765}{551,53. (22 - (-15))}$$

$$p_1 = 0,055 \, W/m^2.K$$

U budov se samostatnou kotelnou na tuhá paliva o jmenovitém tepelném výkonu menším než 150 000 W s přerušovaným provozem vytápění kratším než 16 hodin je dle ČSN 06 0210 přírážka na urychlení zátopy $p_2 = 0,20$.

$$Q_P = 18\,765. (1 + 0,059 + 0,20)$$

$$Q_P = 23\,635 \, W$$

2.4. Výpočet tepelné ztráty větráním

$$\dot{Q}_v = c_{vzd} \cdot \sum (i.l) \cdot B.M. (t_i - t_e)$$

$$Q_v = 1300. (1,4. 10^{-4}. 36,7). 8,0,5. (22 - (-15))$$

$$Q_v = 989 \, W$$

c_{vzd} ... měrné teplo vzduchu při teplotě 0°C

i ... součinitel provzdušnosti

l ... délka spár otevíratelných částí oken a venkovních dveří

B ... charakteristické číslo budovy

M ... charakteristické číslo místnosti

Dle normy ČSN 06 0210 volím součinitel provzdušnosti pro dřevěná okna zdvojená $i = 1,4. 10^{-4} \, m^3.s^{-1}/m.Pa^{0,67}$, celkovou délku spár mezi jednotlivými křídly a rámy jsou dle výkresu budovy v příloze $l = 36,7 \, m$, charakteristické číslo

budovy pro normální krajinu, nechráněnou a osaměle stojící je $B = 8 Pa^{0,67}$,
charakteristické číslo místnosti pro vnitřní dveře těsné s prahy $M = 0,5$.

2.5. Celkové tepelné ztráty

$$Q_c = Q_p + Q_v$$

$$Q_c = 23\,625 + 989$$

$$Q_c = 24\,614\, W$$

3. Návrh energetických úsporných opatření

Z předchozích výpočtů vyplývá, že se jedná o dům s velmi vysokými tepelnými ztrátami, což je zapříčiněno malou tloušťkou stěn. U objektu je absence jakéhokoli zateplení, či jiných energetických úspor.

V návrhu energetických úsporných opatření se tedy zaměříme na izolaci obvodových stěn, izolaci podlahy a výměnou oken a dveří za plastová s lepším součinitelem přestupu tepla.

Materiál	Tloušťka [mm]	Měrná tepelná vodivost [W/m.K]
<i>stěna</i>		
Vnější omítka - vápenná	50	0,880
Pálená cihla – cihelná hmota	300	0,650
Polystyrén PPS	100	0,044
Vnitřní strukturální omítka	50	0,600
<i>strop</i>		
Omítka - vápenná	10	0,880
Dřevo	20	0,220
Izolace - Rockwool	10	0,036

tab. 2 vlastnosti nových materiálů

3.1.1. Stanovení součinitele přestupu tepla stěnami

$$k_{stě,u} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,05}{0,880} + \frac{0,3}{0,880} + \frac{0,1}{0,044} + \frac{0,05}{0,600} + \frac{1}{22}}$$

$$k_{stě,u} = 0,329 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

3.1.2. *Součinitel prostupu tepla podlahou*

Dle normy ČSN 06 0210 pro podlahy s tepelnou izolací, volím součinitel prostupu tepla podlahou $k_{p,u} = 0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

3.1.3. *Součinitel prostupu tepla stropem*

$$k_{str,u} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,880} + \frac{0,02}{0,220} + \frac{0,01}{0,036} + \frac{1}{22}}$$

$$k_{str,u} = 0,328 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

3.1.4. *Součinitel prostupu tepla okny*

Dle katalogu výrobců plastových oken s více komorovým systémem, volím součinitele prostupu tepla okny $k_{o,u} = 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

3.1.5. *Součinitel prostupu tepla dveřmi*

Dle katalogu výrobců plastových dveří s více komorovým systémem, volím součinitele prostupu venkovními dveřmi $k_{dd,u} = 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, a pro balkónové $k_{db,u} = 1,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

3.2. Výpočet tepelných ztrát

3.2.1. *Tepelná ztráta stěn*

$$Q_{0,s,u} = k_{stě,u} \cdot S_{stě} \cdot (t_i - t_e)$$

$$Q_{0,s,u} = 0,329 \cdot 270,27 \cdot (22 - 15)$$

$$Q_{0,s,u} = 3\,290 \text{ W}$$

3.2.2. Tepelná ztráta podlahy

$$Q_{0,p,u} = k_{p,u} \cdot S_p \cdot (t_i - t_e)$$

$$Q_{0,p,u} = 0,7.132,80. (22 - 5)$$

$$Q_{0,p,u} = 2\,510\, W$$

3.2.3. Tepelná ztráta stropu

$$Q_{0,str,u} = k_{str} \cdot S_{str} \cdot (t_i - t_e)$$

$$Q_{0,str,u} = 0,328.132,8. (22 - 16)$$

$$Q_{0,str,u} = 261\, W$$

3.2.4. Tepelná ztráta oken

$$Q_{0,o,u} = k_{o,u} \cdot S_o \cdot (t_i - t_e)$$

$$Q_{0,o,u} = 1,1.10,26. (22 - 15)$$

$$Q_{0,o,u} = 418\, W$$

3.2.5. Tepelná ztráta dveří

$$Q_{0,d,u} = Q_{0,dd,u} + Q_{0,db,u}$$

$$Q_{0,d,u} = k_{dd,u} \cdot S_{dd} \cdot (t_i - t_e) + k_{db,u} \cdot S_{db} \cdot (t_i - t_e)$$

$$Q_{0,d,u} = 1,1.5,4. (22 - (-15)) + 1,7.1,8. (22 - (-15))$$

$$Q_{0,d,u} = 333\, W$$

3.2.6. Celková tepelná ztráta bez přírážek

$$Q_{0,c,u} = Q_{0,stě,u} + Q_{0,p,u} + Q_{0,str,u} + Q_{0,o,u} + Q_{0,d,u}$$

$$Q_{0,c,u} = 6\,812\,W$$

3.3. Výpočet tepelných ztrát s přírážkami

$$Q_{P,u} = Q_{0,c,u} \cdot (1 + p_1 + p_2) [W]$$

$$p_1 = 0,06 \cdot k_c = 0,06 \cdot \frac{Q_{0,c}}{\sum S \cdot (t_i - t_e)}$$

$$p_1 = 0,06 \cdot \frac{6\,812}{551,53 \cdot (22 - 15)}$$

$$p_1 = 0,02\,W/m^2 \cdot K$$

$$Q_{P,u} = 6\,812 \cdot (1 + 0,02 + 0,20)$$

$$Q_{P,u} = 8\,311\,W$$

3.4. Výpočet tepelné ztráty větráním

$$\dot{Q}_{v,u} = c_{vzd} \cdot \sum (i \cdot l) \cdot B \cdot M \cdot (t_i - t_e)$$

$$Q_{v,u} = 1300 \cdot (1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 36,7) \cdot 8,05 \cdot (22 - 15)$$

$$Q_{v,u} = 989\,W$$

3.5. Celkové tepelné ztráty po zateplení objektu

$$Q_{c,u} = Q_p + Q_v$$

$$Q_{c,u} = 8\,311 + 989$$

$$Q_{c,u} = 9\,300\text{ W}$$

3.6. Zhodnocení úsporných opatření

Dle výpočtů, které se nacházejí v této kapitole, si můžeme představit, jak rapidně lze snížit tepelné ztráty objektu zateplením obvodových zdí a výměnou oken a dveří za plastová s lepším součinitelem prostupu tepla.

Díky polystyrénu PPS o tloušťce 100 mm, se nám podařilo snížit tepelné ztráty stěn z původních 13 410 W na 3 290 W. Výměnou oken a dveří, jsme snížili tepelné ztráty z 2 385 W na 751 W. Celkové tepelné ztráty, jsme snížili z původních 24 614 W na 9 300 W, což je o 15 314 W. Všechny tepelné ztráty jsou shrnuty v tabulce nacházející se níže.

Tepelná ztráta	Před návrhem [W]	Po návrhu [W]
Stěny	13 410	3 290
Podlaha	2 709	2 510
Strop	261	261
Okna	1 253	418
Dveře	1 132	333
Celková ztráta bez přírážek	18 765	6 812
Celková ztráta s přírážkami	23 625	8 311
Ztráta větráním	989	989
CELKEM	24 614	9 300

tab. 3 zhodnocení tepelných ztrát

3.7. Ekonomické zhodnocení zateplení objektu

3.7.1. Náklady na energetické úspory objektu

Tepelná ztráta	Před návrhem [W]	Po návrhu [W]
Stěny	13 410	3 290
Podlaha	4 320	2 510
Strop	261	261
Okna	1 253	418
Dveře	1 132	333
Celková ztráta bez přírážek	20 358	6 812
Celková ztráta s přírážkami	25 630	8 311
Ztráta větráním	989	989
CELKEM	26 619	9 300

tab. 4 náklady za provedení energetických úspor

3.7.2. Výpočet potřeby tepla denostupňovou metodou

Pro tento výpočet je důležité znát lokalitu, ve které se daný objekt nachází. V našem případě se jedná o Ostravu.

Vytápěcí denostupně

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es})$$

$$D = 229 \cdot (22 - 4)$$

$$D = 4\,122 \text{ K} \cdot \text{dny}$$

d ... délka otopného období [dny]

t_{is} ... průměrná vnitřní výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$]

t_{es} ... průměrná teplota během otopného období [$^{\circ}\text{C}$]

Potřeba tepla před úspornými opatřeními

$$Q_{vyt,r,př} = \frac{\varepsilon}{\eta_{op} \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{vyt,r,př} = \frac{0,689}{0,95 \cdot 0,95} \cdot \frac{24 \cdot 20,358 \cdot 4122}{(22 - (-15))} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{vyt,r,př} = 149,5 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$$

ε ... opravný součinitel pro stavby střední s krátkými otopnými přestávkami, dle ČSN 06 0210 [-]

η_{op} ... účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy [-]

η_r ... účinnost rozvodu vytápění [-]

Q_c ... tepelná ztráta objektu [kW]

Potřeba tepla po úsporných opatřeních

$$Q_{vyt,r,po} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{vyt,r,po} = \frac{0,689}{0,95 \cdot 0,95} \cdot \frac{24 \cdot 6,812 \cdot 4122}{(22 - (-15))} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{vyt,r,po} = 50 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Roční úspora tepla

$$Q_{vyt,r,u} = Q_{vyt,r,př} - Q_{vyt,r,po}$$

$$Q_{vyt,r,u} = 149,5 - 50$$

$$Q_{vyt,r,u} = 99,5 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Denní potřeba tepla pro ohřev vody

$$Q_{TV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c_v \cdot V_{2p} \cdot (t_{v1} - t_{vs})}{3600}$$

$$Q_{TV,d} = (1 + 0,8) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,25 \cdot (55 - 5)}{3600}$$

$$Q_{TV,d} = 23,5 \text{ kWh} \cdot \text{den}^{-1}$$

z ... koeficient energetických ztrát systému [-]

V_{2p} ... potřeba teplé vody na 1 den [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]

Roční potřeba tepla pro ohřev vody

$$Q_{TV,r} = Q_{TV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TV,d} \cdot \frac{(t_{v1} - t_{vsL})}{(t_{v1} - t_{svZ})} \cdot (N - d)$$

t_{vsL} ... teplota studené vody v létě [$^{\circ}\text{C}$]

t_{svZ} ... teplota studené vody v zimě [$^{\circ}\text{C}$]

N ... počet pracovních dní soustavy [dny]

Díky tomu, že ohříváme vodu pomocí kotlového okruhu jen 185 dní v roce a to mimo letní měsíce, lze tento vzorec upravit na tvar:

$$Q_{TV,r} = Q_{TV,d} \cdot N$$

$$Q_{TV,r} = 23,5 \cdot 185$$

$$Q_{TV,r} = 4\,347,5 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1} = 15,7 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Celková roční potřeba tepla pro vytápění objektu a ohřev vody po úsporných opatřeních

$$Q_{vyt} = Q_{vyt,r,u} + Q_{TV,r}$$

$$Q_{vyt} = 50 + 15,7$$

$$Q_{vyt} = 65,7 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$$

3.7.3. Úspora snížením tepelných ztrát

Jak již bylo zmíněno, tak jsme energetickými úsporami, snížili tepelné ztráty o 17 319 W. Tato výrazná úspora, se nám především promítne v platbě za teplo a ohřev teplé vody. Roční potřebu tepla jsme snížili o $99,5 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Výpočet roční úspory paliva

Pro tento výpočet využijeme roční úsporu tepla, výhřevnost hnědého uhlí $18 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a účinnost spalování automatického kotle 80 %.

$$m_{pal} = \frac{Q_{vyt,r,u}}{\eta_k \cdot Q_i^r}$$

$$m_{pal} = \frac{99\,500}{0,8 \cdot 18}$$

$$m_{pal} = 6\,909 \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}$$

η_k ... účinnost kotle

Q_i^r ... výhřevnost paliva

Výpočet roční úspory za energie

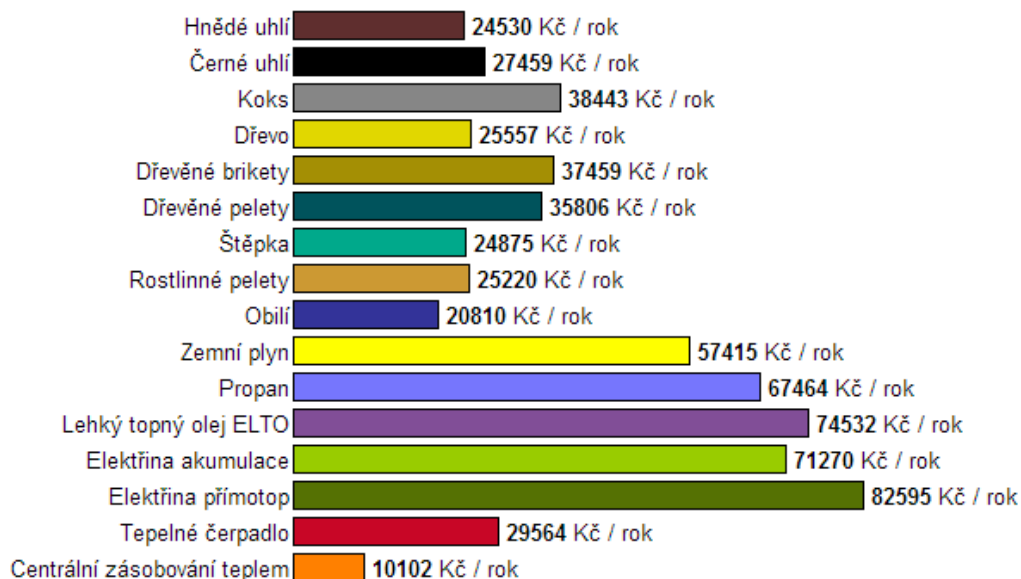
Dle prodejců se cena hnědého uhlí pohybuje okolo $3,6 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$.

$$Z = m_{pal} \cdot C_{pal}$$

$$Z = 6\,909 \cdot 3,6$$

$$Z = 24\,530 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$$

C_{pal} ... cena za kilogram paliva [$\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$]



obr. 1 přehled úspor dle nejpoužívanějších zdrojů [10]

Jak lze vyčíst z obrázku, tak úspory za vytápění a ohřev teplé vody se pohybují v desetitisících korunách ročně. Jako příklad využijeme vytápění a ohřev vody pomocí automatického kotle na hnědé uhlí. U tohoto typu ušetříme ročně 24 530 Kč, což je velmi výrazná úspora.

3.7.4. Stanovení návratnosti investice

$$DN = \frac{CIN}{Z}$$

$$DN = \frac{404\,200}{24\,530}$$

$$DN = 16,48 \text{ let}$$

CIN ... celkové investiční náklady [Kč]

Dle výše uvedeného vzorce vyplývá, že návratnost investice se pohybuje okolo 17 let. Ve skutečnosti je tato návratnost díky každoročnímu nárůstu cen paliv a stoupající inflaci nižší.

4. Využití solární energie pro ohřev teplé vody

Ohřev vody je nejběžnějším a nejvýhodnějším využitím solární energie v našich podmínkách. Systémy pro ohřev vody dělíme na pasivní a aktivní.

Mezi samotížné systémy řadíme například akumulční kolektor nebo samotížný systém pro ohřev vody. Zde je patrně nejjednodušším systémem černě natřená nádoba umístěná na slunci. Tato nádoba je současně kolektorem i zásobníkem. Nevýhoda tohoto systému je především v tom, že pokud není sluneční intenzita dostatečná, tak dochází k výrazným tepelným ztrátám. U samotížného systému je podstatné snížení tepelných ztrát v době bez slunečního svitu. Tohoto je docíleno oddělením kolektoru a zásobníku. Pokud je kolektor umístěn pod zásobníkem, není zapotřebí oběhového čerpadla. Pasivní systémy jsou běžné v zemích, kde nehrozí mrazy a kde se hojně používají ploché střechy.

Mezi aktivní systémy pro ohřev teplé vody patří kapalinové kolektory, jako jsou plastové absorbéry, ploché a vakuové kolektory a v neposlední řadě i koncentrační kolektory. Výhodou aktivních systémů je využití čerpadel pro oběh teplotnosné kapaliny, které je spínané vhodným solárním regulátorem. Zde je možno umístit kolektory na střechu a solární zásobník kdekoliv v objektu, což je vzhledem k jeho nezanedbatelným rozměrům velmi výhodné. Mimo jiné tím i minimalizujeme tepelné ztráty v rozvodech teplé vody.



obr.2 akumulční kolektor



obr. 3 plochý kolektor

4.1. Výpočet měsíčních potřeb tepla pro přípravu TV

V této části diplomové práce se budu zabývat návrhem typu a počtu metrů čtverečních kolektorů pro solární systém ohřívající teplou vodu pro obyvatele již zmíněného objektu. Objekt obývá pět osob, přičemž každá spotřebuje denně 50 l teplé vody. Kolektory jsou orientovány směrem na jih, pod úhlem 60°. Budou sloužit pro ohřev vody z původních 5 °C na 60 °C.

$$Q_T = m \cdot c_{\text{vod}} \cdot \Delta T$$

$$m = 50 \cdot 5 \cdot 30 = 7\,500 \text{ kg}$$

$$Q_T = 7500 \cdot 4,2 \cdot (55 - 5)$$

$$Q_T = 1\,575\,000 \text{ kJ} = 437,5 \text{ kWh}$$

m ... spotřeba vody domácnosti za měsíc

c_{vod} ... měrná tepelná kapacita vody (4,2 kJ.kg⁻¹.K⁻¹)

Q_T ... teoretická hodnota, ztráty v rozvodech při přípravě TUV jsou 15%, proto

$$Q_S = \frac{Q_T}{0,85}$$

$$Q_S = \frac{437,5}{0,85}$$

$$Q_S = 514,7 \text{ kWh}$$

Q_S ... skutečná hodnota potřebné energie včetně ztrát.

4.2. Stanovení množství skutečného solárního záření dopadajícího na plochu dané orientace

Výpočet je proveden pro měsíc leden.

$$Q_{skut} = \tau_{rel} * Q_{teor} * 30$$

$$Q_{skut} = 0,27 * 3,71 * 30$$

$$Q_{skut} = 30,05 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

τ_{rel} ... relativní doba slunečního svitu

Q_{teor} ... teoreticky možná energie dopadající za den na plochu v jednotlivých měsících

Výpočet pro jednotlivé měsíce

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{skut}	30,0 5	47,3 4	58,8 6	82,2 5	114,0 7	114,4 8	133,4 9	122,2 7	84,3 7	59,9 6	21,1 5	16, 2

tab. 5 skutečné solární záření dopadající na plochu dané orientace pro jednotlivé měsíce

4.3. Volba typu kolektoru – stanovení rovnice účinnostní charakteristiky

Dle technického provedení dělíme kolektory na absorbéry, ploché, vakuové a koncentrační kolektory. Jednotlivé typy se od sebe liší konstrukcí a také oblastí využití. Pro náš případ se většinou využívají ploché či vakuové kolektory.

Z nepřeberného množství kolektorů, jsem vybral plochý kolektor s označením SUNTIME 2.4. Kolektor obsahuje měděný absorbér s vysoce selektivním povrchem TiNOX. Rám kolektoru je vyroben z hliníkových eloxovaných profilů, které nevyžadují použití zasklívacích profilů. Konstrukce rámu zabraňuje zachytávání sněhu na čelní ploše, což podstatně zvyšuje solární zisk v zimním období. Čelní plocha je zasklena 4 mm silným solárním kaleným sklem. Pro snížení tepelných ztrát má kolektor SUNTIME izolovanou zadní stěnu minerální vatou o tloušťce 30 mm a PUR deskou o tloušťce 20 mm. Boční stěny jsou izolovány minerální

vatou o tloušťce 20 mm. K napojení kolektoru SUNTIME do solárního okruhu slouží měděné trubky o průměru 22 mm.

Výpočty v této kapitole jsem provedl pro měsíc leden a zbývající měsíce jsou uvedeny v tabulkách.

Plocha apertury	7,36 m ²
Absorpční plocha	7,32 m ²
Vnější rozměry	1895 mm x 4204 mm
Tepelná izolace	minerální vata 30 mm + PUR 20 mm
Objem teponosné kapaliny	4,4 l
Solární absorpivita	95 % ± 2 %
Emisivita při 100 °C	4 % ± 2 %
Optická účinnost	80 %
Doporučená pracovní teplota	Do 100 °C
Maximální přetlak teponosné kapaliny	6 bar
Doporučený průtok	160 – 480 l / h
Stagnační teplota	203 °C
Energetický zisk	3200 – 4800 kWh / rok

tab. 6 vlastnosti kolektoru

4.3.1. Určení redukované teploty A kolektoru pro jednotlivé měsíce

	Značka	Jednotka	Celková	Apertura	Absorber
Plocha	S_{kol}	[m ²]	1 990	1 874	1 856
Optická účinnost	η_0	[-]	-	-	0,81
Lineární součinitel tepelných ztrát	a_1	[W.K ⁻¹ .m ⁻²]	-	-	3,43
Kvadratický součinitel tepelných ztrát	a_2	[W.K ⁻¹ .m ⁻²]	-	-	0,0106

tab. 7 výpočtové vlastnosti kolektoru

$$A = \frac{t_k - t_0}{I_{stř}} = \frac{t_k - t_0}{\frac{Q_{teor}}{\tau_{teor}}}$$

$$A = \frac{\frac{55 + 5}{2} - 0,78}{\frac{3710}{8,26}}$$

$$A = 0,065 \text{ K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$$

t_k ... teplota kolektoru

t_0 ... střední teplota v době slunečního svitu

τ_{teor} ... teoretická doba slunečního svitu v char. dnech jednotlivých měsíců

Výpočet pro jednotlivé měsíce

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
A	0,065	0,057	0,046	0,040	0,032	0,025	0,021	0,020	0,030	0,042	0,059	0,078

tab. 8 redukovaná teplota v jednotlivých měsících

4.3.2. Účinnost solárního kolektoru

$$\eta = \eta_0 - a_1 * A - a_2 * A^2 * \frac{Q_{teor}}{\tau_{teor}}$$

$$\eta = 0,8 - 2,495 * 0,065 - 0,028 * 0,065^2 * \frac{3710}{8,26}$$

$$\eta = 0,584$$

Účinnost kolektoru pro jednotlivé měsíce

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
η	0,584	0,609	0,653	0,675	0,706	0,727	0,742	0,743	0,711	0,670	0,611	0,541

tab. 9 účinnost kolektoru v jednotlivých měsících

4.3.3. Stanovení měrného tepelného zisku kolektoru

$$Q_k = \eta * Q_{skut}$$

$$Q_k = 0,584 * 30,051$$

$$Q_k = 17,56 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

Měrný tepelný zisk pro jednotlivé měsíce

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_k	17,56	28,81	38,44	55,49	80,51	83,26	99,09	90,81	60,02	40,16	12,91	8,77

tab. 10 měrný tepelný zisk kolektoru v jednotlivých měsících

4.4. Návrh kolektorové plochy

Jako měsíc s rovnovážnou energetickou bilancí dle předchozích výpočtů, jsem zvolil měsíc duben.

$$S_{kol} = \frac{Q_s}{Q_k} = \frac{514,71}{55,49} = 9,27 \text{ m}^2$$

Návrh počtu kolektorů

$$n = \frac{S_{kol}}{\text{absorber area}}$$

$$n = \frac{9,27}{7,32}$$

$$n = 1,27 \text{ ks}$$

-podle výpočtu volím 1 kus kolektoru

Přepočet počtu m^2 kolektorové plochy

$$S'_{kol} = n * absorber\ area$$

$$S'_{kol} = 1 * 7,32$$

$$S'_{kol} = 7,32\ m^2$$

4.5. Určení energetické bilance pro jednotlivé měsíce

$$Q = Q_k * S'_{kol}$$

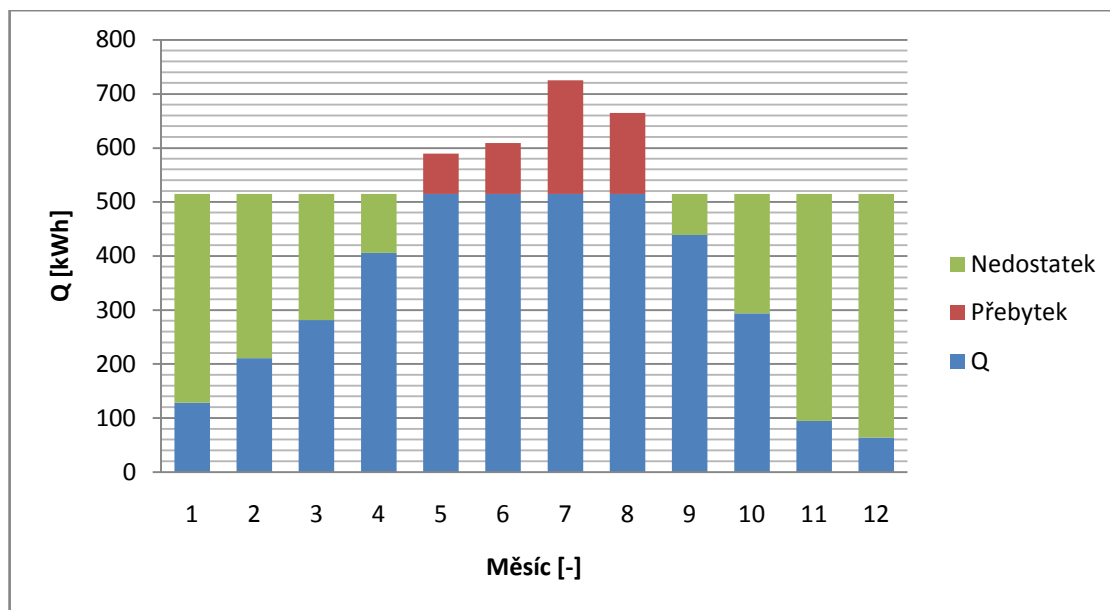
$$Q = 55,49 * 7,32$$

$$Q = 514,71\ kWh$$

Energetická bilance pro jednotlivé měsíce

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q	128	210	281	406	514	514	514	514	439	294	95	64
Přebytek	0	0	0	0	74	94	210	150	0	0	0	0
Nedostatek	386	303	233	108	0	0	0	0	75	221	420	451

tab. 11 energetická bilance kolektoru v jednotlivých měsících



obr. 4 energetická bilance pro jednotlivé měsíce

4.6. Stanovení maximálního celoročního zisku solárního systému

4.6.1. S přebytky v letních měsících

$$Q_{max} = \sum_{i=1}^{12} Q_i - (Q_i * 0,05)$$

$$Q_{max} = 4282,67 \text{ kWh}$$

Do celkové bilance musíme započítat i spotřebu oběhového čerpadla, která se odhaduje na 3 – 5 %. Pro tento výpočet jsem použil horní hranici.

4.6.2. Bez přebytků v letních měsících

$$Q_{max} = \sum_{i=1}^4 Q_i + (5 * 514,71) + \sum_{i=10}^{12} Q_i - (Q_i * 0,05)$$

$$Q_{max} = 3779,10 \text{ kWh}$$

4.6.3. Výpočet měrného celoročního zisku solárního systému maximálního a skutečného, vztaženého na 1m^2 plochy kolektoru

$$\dot{Q}_{\max} = \frac{Q_{\max}}{S'}$$

$$\dot{Q}_{\max} = \frac{4282,67}{7,32}$$

$$\dot{Q}_{\max} = 585,06 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\dot{Q}_{\text{skut}} = \frac{Q_{\text{skut}}}{S'}$$

$$\dot{Q}_{\text{skut}} = \frac{3779,10}{7,32}$$

$$\dot{Q}_{\text{skut}} = 516,27 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

4.7. Ekonomické zhodnocení solárního systému

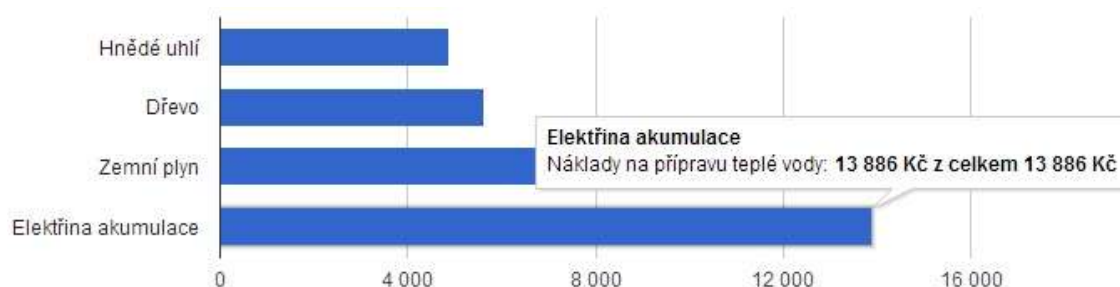
4.7.1. Náklady na pořízení solárního systému

Součást	Cena s DPH
Kolektor SUNTIME 2.4	58 500
Kotvicí prvky na střechu	6 500
Propojovací prvky	4 500
Čerpadlo solárního okruhu	7 475
Řídící jednotka	3 300
Expanzní nádoba	1 960
Servisní armatury	3 414
Akumulační nádrž 600 l	39 600
Montáž	3 500
CELKEM	128 749 Kč

tab. 12 náklady na pořízení solárního systému

4.7.2. Úspora za ohřev teplé vody

Dle výpočtů v kapitole 4., pomocí solárního kolektoru ušetříme ročně 3 780 KWh za ohřev teplé vody. Na obrázku níže vidíme tuto úsporu vzhledem ke stejnému množství vyrobené energie ale různých zdrojů.



obr. 5 náklady na ohřev vody dle různých zdrojů [10]

V našem případě, byla ohřívána voda pomocí automatického kotle na hnědé uhlí. Tedy roční úspora za ohřev vody je 5 620 Kč. Pokud bychom ale ohřívali vodu pomocí elektřiny, byla by tato úspora skoro 14 000 Kč za rok.

4.7.3. Stanovení návratnosti investice

$$DN_K = \frac{CIN_K}{Z_K}$$

$$DN_K = \frac{128\,749}{5\,620}$$

$$DN_K = 22,9 \rightarrow 23 \text{ let}$$

Návratnost investice se v případě solárního systému zdá být vzhledem k jeho životnosti patnácti let nedosažitelná. V tomto případě se dá zažádat o dotaci Ministerstva životního prostředí a návratnost investice by se nám tím snížila z původních 23 let pouze na polovinu, tedy přibližně na 12 let. Zde bych chtěl uvést, že výpočet je stanoven pro účinnost kotle 80 %. Ve skutečnosti je tato účinnost v létě mnohem nižší a klesne až k 50 %. Tedy návratnost investice je mnohem nižší, než ta, která je uvedena ve výpočtu.

5. NÁVRH AKUMULAČNÍ NÁDOBY

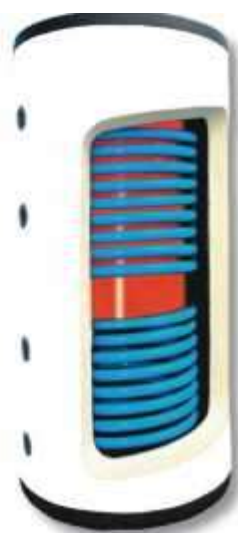
5.1. Popis systému

V konstrukčním návrhu se budeme zabývat návrhem akumulční nádoby o objemu 600 l. Tato nádoba je vytápěna dvěma topnými okruhy, a to jak pomocí solárního kolektoru, tak i pomocí kotle na tuhá paliva.

Solární část je otápěna solárním kolektorem SUNTIME 2.4., jehož vlastnosti a parametry jsou blíže popsány v kapitole 4. Tento systém ohřívá spodní část akumulční nádoby a je dimenzován na ohřev 250 l vody z 5°C na teplotu 55°C. Teplota na výstupu z kolektoru je 65°C.

Kotlová část je otápěna automatickým kotlem na hnědé uhlí. Kotel má jmenovitý výkon 25 kW a má za úkol ohřát horní část zásobníku o objemu 200 l. Teplota na výstupu z kotle je 80°C a jak již bylo zmíněno, tak má za úkol ohřát vodu v akumulční nádobě z 5°C na 55°C.

V akumulční nádobě se také nachází vnitřní nádoba o objemu 150 l, jenž slouží k ohřevu vody. Voda v této nádobě je nahřívána pomocí vody ve vnějším plášti zásobníku.



obr. 6 akumulční nádoba [11]

5.2. Zapojení systému

5.2.1. Připojení k topným zdrojům

Nádrž by měla být co nejbližší topného zdroje. Topné okruhy připojíme na vstupy a výstupy dle rozložení teploty v nádrži. V nejnižším místě nádrže nainstalujeme vypouštěcí ventil a v nejvyšším ventil odvzdušňovací. Všechny připojovací rozvody by měly být zaizolované z důvodu snížení tepelných ztrát. Akumulační nádoba může být osazena přídatnými elektrickými topnými tělesy.

5.2.2. Připojení k solárnímu systému

V našem případě se přívod ohřátého média ze solárního systému připojí k hornímu nátrubku topného hada a spodní vývod se připojí k vratnému potrubí do solárního systému. Rozvody by měly být opět pečlivě zaizolovány.

5.2.3. Připojení k rozvodu užitkové vody

Na přívod vody do vnitřního zásobníku je nutno namontovat redukční ventil. Při tlaku ve vodovodním řádu nad 6 bar je redukční ventil nutný. V případě, že je voda nadměrně tvrdá se doporučuje nainstalovat před zásobník změkčovač vody. V případě mechanických nečistot je vhodné nainstalovat před nádobu následně i filtr.

5.2.4. Instalace elektronické anody

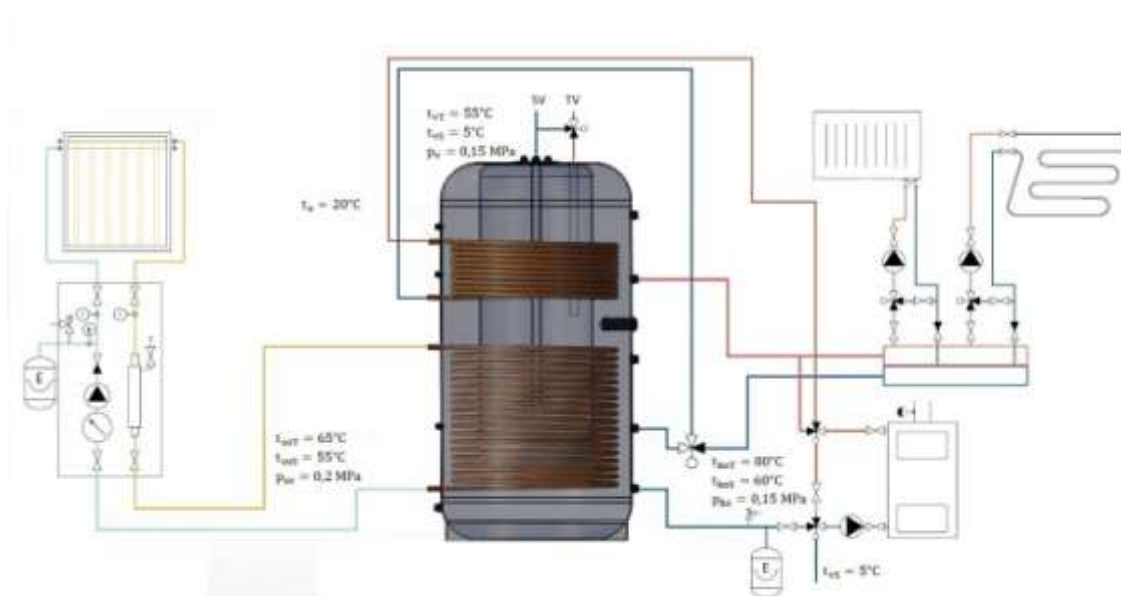
Nádoby pro horkou vodu pro domácí použití jsou obvykle vybaveny pasivním povlakem pro ochranu proti elektrochemické korozi způsobené vodou. Stoprocentní ochrana proti korozi vnitřní úpravou povrchu nádrže neexistuje. Je proto nezbytné přidat aktivní ochranu jako je například elektronická anoda. V našem případě byla použita elektronická ochranná anoda typu IVAR.AE , která má oproti klasickým magneziovým anodám mnohem větší životnost.

Pro instalaci elektronické anody je nutné použít přechodku G 5/4“ na G 1/2“. Dále je nutné, vzhledem k jejím rozměrům, pro instalaci a případnou výměnu této anody místo mezi vrchem nádrže a stropem místnosti cca 0,75 m.

5.2.5. Uvedení do provozu

Při uvádění do provozu musí být nejprve napuštěn zásobník TV, pak se napustí akumulční nádrž. Pokud by byla nejprve napuštěna topná voda, došlo by k poškození ochranného povrchu zásobníku TV. Topné okruhu naplníme příslušnými kapalinami. Kotlový okruh je napuštěn vodou a solární okruh teplonosnou nemrznoucí kapalinou. Celý systém je pak nutno odvzdušnit.

5.3. Schéma zapojení



Obr. 7 schéma zapojení systému

5.4. Návrh akumulční nádoby

5.4.1. Postup výpočtu akumulční nádoby

5.4.1.1. Výpočet potřebného množství tepla pro solární ohřev teplé vody v zásobníku

$$Q_{potř} = \frac{m \cdot c_p \cdot (t_{v1} - t_{vs})}{\tau}$$

$$Q_{potř} = \frac{\rho_v \cdot V \cdot c_p \cdot (t_{v1} - t_{vs})}{\tau}$$

$$Q_{potř} = \frac{995,6 \cdot 0,25 \cdot 4174 \cdot (55 - 5)}{0,54 \cdot 3600}$$

$$Q_{potř} = 26\,720,9 \text{ W}$$

ρ_v ... hustota vody [$kg \cdot m^{-3}$]

V ... objem vody ve vnější části akumulční nádoby [m^3]

c_{vod} ... měrná tepelná kapacita vody [$J \cdot kg^{-1} K^{-1}$]

t_{v1} ... teplota vody ve vnější části akumulční nádoby [$^{\circ}C$]

t_{vs} ... teplota vody na vstupu do akumulční nádoby [$^{\circ}C$]

τ ... potřebný čas k ohřátí vody na požadovanou teplotu [h]

Hustota byla odečtena pro určovací teplotu:

$$t_u = \frac{t_{v1} + t_{vs}}{2}$$

$$t_u = \frac{55 + 5}{2}$$

$$t_u = 30 \text{ } ^{\circ}C$$

5.4.1.2. Stanovení fyzikálních parametrů vody při přestupu tepla z teplotnosného média na vnitřní povrch solárního výměníku

Výpočet střední teploty v solárním výměníku

$$t_{stř} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

$$t_{stř} = \frac{65 + 55}{2}$$

$$t_{stř} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

t_1 ... teplota na vstupu do výměníku $^\circ\text{C}$

t_2 ... teplota na výstupu z výměníku $^\circ\text{C}$

Výpočet určovací teploty

$$t_u = \frac{t_{s1} + t_{stř}}{2} = \frac{49 + 60}{2} = 54,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

t_{s1} ... střední teplota vnitřního povrchu solárního výměníku $^\circ\text{C}$

Fyzikální vlastnosti vody odečtené pro určovací teplotu

$$\text{Pr} = 3,05 \text{ [-]}$$

$$\nu = 0,510 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\lambda = 63,62 \cdot 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

5.4.1.3. Volba kritériální rovnice

V tomto případě je uvažováno nucené proudění teplotnosného média solárním výměníkem a kritériální rovnice má dle [4] tvar:

$$\text{Nu} = 0,021 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,43} \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_l \cdot \varepsilon_R$$

Re ... Reynoldsovo číslo [-]

Pr ... Prandtlovo číslo [-]

ε_t ... teplotní součinitel [-]

ε_l ... opravný součinitel zahrnující vliv délky [-]

ε_R ... opravný součinitel pro proudění tekutiny v kolenech a hadech [-]

Předchozí rovnice platí pouze při dodržení těchto podmínek

$Pr > 0,7$

$Re > 10\,000$

Výpočet Reynoldsova čísla

$$Re = \frac{w \cdot d_1}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,6 \cdot 0,018}{0,510 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = 21\,176 [-]$$

w ... rychlost proudění vody [$m \cdot s^{-1}$]

d_1 ... vnitřní průměr trubky [m]

ν ... kinematická viskozita Solarenu [$m^2 \cdot s^{-1}$]

Vlastnosti solarenu odečteny z literatury [12].

Výpočet teplotního součinitele

$$\varepsilon_t = \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25}$$

$$\varepsilon_t = \left(\frac{3,05}{3,617} \right)^{0,25}$$

$$\varepsilon_t = 0,96 [-]$$

Pr_s ... Prandtlovo kritérium určené pro střední teplotu vnitřního povrchu solárního výměníku

Výpočet kritických hodnot Reynoldsova kritéria

$$Re'_{kr} < Re < Re''_{kr} \dots \varepsilon_R = 1$$

$$Re < Re''_{kr} \dots \varepsilon_R = 1 + 1,8 \cdot \frac{d_1}{R}$$

Re'_{kr} ... kritická hodnota Reynoldsova čísla [-]

Re''_{kr} ... kritická hodnota Reynoldsova čísla [-]

d_1 ... vnitřní průměr trubky solárního výměníku [m]

R ... poloměr vinutí solárního výměníku [m]

$$Re'_{kr} = \frac{16,4}{\sqrt{\frac{d_1}{R}}}$$

$$Re'_{kr} = \frac{16,4}{\sqrt{\frac{0,018}{0,325}}}$$

$$Re'_{kr} = 69,69 [-]$$

$$Re''_{kr} = 18\,500 \cdot \left(\frac{d_1}{2 \cdot R} \right)^{0,28}$$

$$Re''_{kr} = 18\,500 \cdot \left(\frac{0,018}{2,0,325} \right)^{0,28}$$

$$Re''_{kr} = 6\,776,92 [-]$$

Pro tento případ tedy platí

$$Re > Re''_{kr}$$

$$21\,176 > 6\,776,92$$

Výpočet opravného součinitele pro proudění tekutin v kolenech a hadech

$$\varepsilon_R = 1 + 1,8 \cdot \frac{d_1}{R}$$

$$\varepsilon_R = 1 + 1,8 \cdot \frac{0,018}{0,325}$$

$$\varepsilon_R = 1,0996 \rightarrow 1,1 [-]$$

Stanovení opravného součinitele na délku trubky

V případě, že je $l/d > 50$ volíme $\varepsilon_t = 1 [-]$.

Výpočet Nusseltova čísla

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_l \cdot \varepsilon_R$$

$$Nu = 0,021 \cdot 21\,176^{0,8} \cdot 3,05^{0,43} \cdot 0,96 \cdot 1,1$$

$$Nu = 103,47 [-]$$

5.4.1.4. Výpočet součinitele přestupu tepla z teplotnosného média na vnitřní povrch solárního výměníku:

$$Nu = \frac{\alpha_i \cdot d_1}{\lambda} \rightarrow \alpha_i$$

$$\alpha_i = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_1}$$

$$\alpha_i = \frac{103,47,63,62 \cdot 10^{-2}}{0,018}$$

$$\alpha_i = 3\,772 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$$

5.4.1.5. Stanovení fyzikálních parametrů vody při přestupu tepla z vnějšího povrchu výměníku do vnější části akumulční nádoby:

$$t_u = \frac{t_{s2} + t_{vs}}{2}$$

$$t_u = \frac{20 + 5}{2}$$

$$t_u = 12,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

t_{s2} ... střední teplota vnějšího povrchu solárního výměníku [$^\circ\text{C}$]

t_{vs} ... teplota vody na vstupu do vnější části akumulční nádoby [$^\circ\text{C}$]

Fyzikální vlastnosti vody odečtené pro předchozí určovací teplotu:

$$Pr = 11,18[-]$$

$$\nu = 1,008 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\lambda = 57,90 \cdot 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\gamma = 1,098 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$$

5.4.1.6. Volba kritériální rovnice

Pro tento případ uvažujeme s přirozenou konvekcí v omezeném prostoru a kritériální rovnice má tvar:

$$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n$$

c, n ... koeficienty závislé na součinu Grashofova a Prandtlova čísla [-]

Výpočet Grashofova čísla

$$Gr = \frac{g \cdot d_2^3}{\nu^2} \cdot \gamma \cdot (t_{s2} - t_{vs})$$

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 0,019^3}{(1,008 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 1,098 \cdot 10^{-4} \cdot (20 - 5)$$

$$Gr = 109\,069 \text{ [-]}$$

g ... gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

d_2 ... vnější průměr trubky [m]

ν ... kinematická viskozita vody [$m^2 \cdot s^{-1}$]

t_{s2} ... teplota vnější povrchu trubky [$^{\circ}C$]

t_{vs} ... teplota vody na vstupu do zásobníku [$^{\circ}C$]

Zjištění koeficientů Grashofova a Prandtlova čísla

$$Gr \cdot Pr = 109\,069 \cdot 11,18$$

$$Gr \cdot Pr = 1\,219\,394 \text{ [-]}$$

Pro tento výsledek byly z literatury odečteny následující hodnoty

$$c = 0,54 \quad n = 0,25$$

Výpočet Nusseltova čísla

$$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n$$

$$Nu = 0,54 \cdot (1\,219\,394)^{0,25}$$

$$Nu = 17,94 [-]$$

5.4.1.7. Výpočet součinitele přestupu tepla z vnějšího povrchu výměníku do vnější části akumulární nádoby

$$Nu = \frac{\alpha_e \cdot d_2}{\lambda} \rightarrow \alpha_e$$

$$\alpha_e = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_2}$$

$$\alpha_e = \frac{17,94 \cdot 57,9 \cdot 10^{-2}}{0,019}$$

$$\alpha_e = 546,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

5.4.1.8. Výpočet součinitele prostupu tepla

$$k_l = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_i \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{Cu}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_e \cdot d_2}}$$

$$k_l = \frac{\pi}{\frac{1}{3772 \cdot 0,018} + \frac{1}{2 \cdot 396} \cdot \ln \frac{0,019}{0,018} + \frac{1}{546,8 \cdot 0,019}}$$

$$k_l = 32,62 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

λ_{Cu} ... součinitel tepelné vodivosti mědi [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

5.4.1.9. Výpočet středního logaritmického spádu

$$\Delta t_s = \frac{(t_1 - t_{v1}) - (t_2 - t_{vs})}{\ln \frac{(t_1 - t_{v1})}{(t_2 - t_{vs})}}$$

$$\Delta t_s = \frac{(65 - 55) - (55 - 5)}{\ln \frac{(65 - 55)}{(55 - 5)}}$$

$$\Delta t_s = 24,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

t_1 ... teplota na vstupu do solárního výměníku [$^\circ\text{C}$]

t_2 ... teplota na výstupu ze solárního výměníku [$^\circ\text{C}$]

t_{vs} ... teplota vody na vstupu do vnější části akumulční nádoby [$^\circ\text{C}$]

t_{v1} ... teplota vody ve vnější části akumulční nádoby [$^\circ\text{C}$]

5.4.1.10. Výpočet délky solárního výměníku

$$Q = k_l \cdot \Delta t_s \cdot L \rightarrow L$$

$$L = \frac{Q}{k_l \cdot \Delta t_s}$$

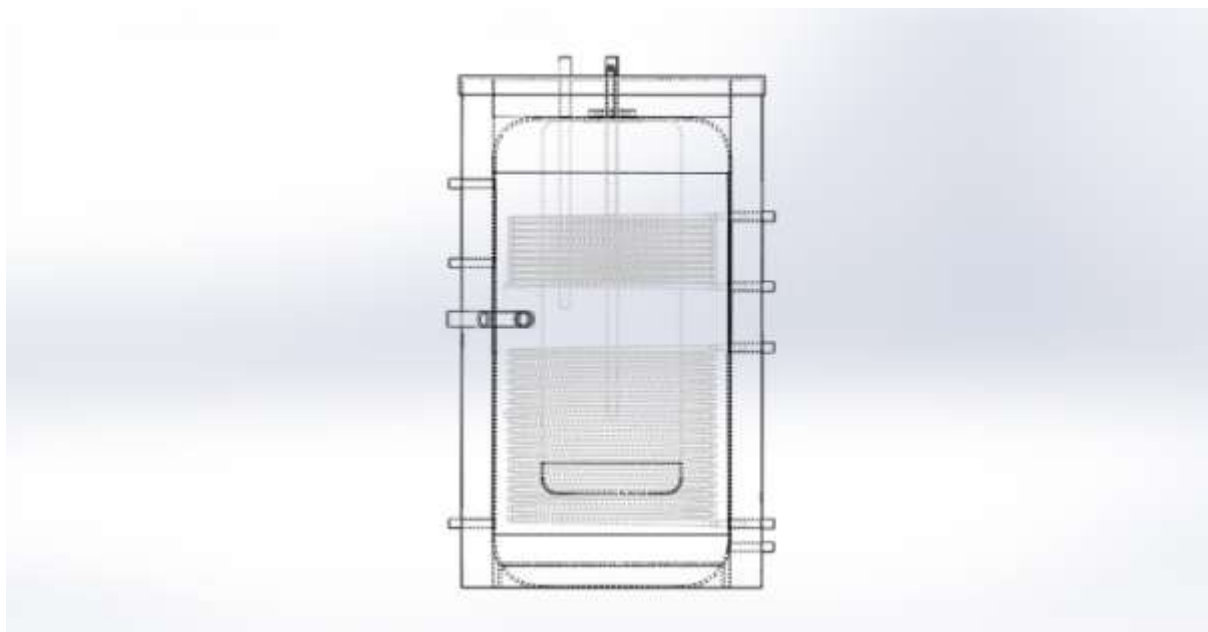
$$L = \frac{26\,727,3}{32,62 \cdot 24,85}$$

$$L = 32,97 \text{ m}$$

Q ... tepelný výkon solárního výměníku [W]

L ... délka výměníku [m]

5.5. Výsledný návrh akumulční nádoby dle předchozích výpočtů



obr. 8 návrh akumulční nádoby

	Hodnota
Celkový objem	<i>600 l</i>
Vnitřní objem zásobníku	<i>150 l</i>
Plocha horního topného hada	<i>1,5 m²</i>
Plocha dolního topného hada	<i>2,4 m²</i>
Délka horního topného hada	<i>26,5 m</i>
Délka dolního topného hada	<i>42,4 m</i>
Vnitřní průměr trubek	<i>0,018 m</i>
Výška nádoby	<i>1,625 m</i>
Průměr nádoby	<i>0,75 m</i>

tab. 13 vlastnosti akumulční nádoby

5.6. Stanovení průměru potrubí solárního okruhu

Pro rozvod teplotnosného média mezi akumulární nádobou a solárním systémem je použito měděné potrubí s izolací. Stanovení průměru potrubí je závislé na instalované ploše kolektorů a délce potrubí solárního okruhu. Dle délky potrubí 10,5 m a instalované ploše kolektoru $7,32 \text{ m}^2$ jsem zvolil rozměr potrubí DN 22x1.

5.7. Výpočet tlakových ztrát solárního okruhu

5.7.1. Výpočet statického tlaku v potrubí solárního okruhu

$$p_s = \rho_{sk} \cdot g \cdot h$$

$$p_s = 1032,981,7,1$$

$$p_s = 71\,879,83 \text{ Pa}$$

ρ_{sk} ... hustota solární kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

g ... gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

h ... výška teplotnosného média v solárním okruhu [m]

5.7.2. Výpočet Reynoldsova čísla

$$Re = \frac{w \cdot d_i}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,6 \cdot 0,02}{3,1 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = 3\,870,96 [-]$$

Výpočtem jsme zjistili, že se jedná o turbulentní proudění.

w ... rychlost Solarenu v potrubí [$m \cdot s^{-1}$]

d_i ... vnitřní průměr potrubí [m]

ν ... kinematická viskozita kapaliny [$m^2 \cdot s^{-1}$]

5.7.3. Výpočet tlakové ztráty přímých částí potrubí

$$\Delta p_{p\check{c}} = \lambda \cdot \frac{l_{p\check{c}}}{d_i} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_{sk}$$

$$\Delta p_{p\check{c}} = 0,041 \cdot \frac{10,5}{0,02} \cdot \frac{0,6^2}{2} \cdot 1032$$

$$\Delta p_{p\check{c}} = 3\,998,48 \text{ Pa}$$

λ ... součinitel tření, stanoven z diagramu dle [4]

$l_{p\check{c}}$... délka přímých částí potrubí [m]

5.7.4. Výpočet tlakové ztráty armatur a kolen

$$\Delta p_A = \Delta p_{uv} + \Delta p_{zv} + \Delta p_k$$

$$\Delta p_A = \xi_{uv} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_{sk} \cdot z + \xi_{zv} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_{sk} \cdot z + \xi_k \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_{sk} \cdot z$$

$$\Delta p_A = 5,2 \cdot \frac{0,6^2}{2} \cdot 1032 \cdot 2 + 6,7 \cdot \frac{0,6^2}{2} \cdot 1032 \cdot 1 + 0,5 \cdot \frac{0,6^2}{2} \cdot 1032 \cdot 5$$

$$\Delta p_A = 3\,640,90 \text{ Pa}$$

ξ ... ztrátový součinitel [-]

z ... počet kusů [-]

5.7.5. Výpočet tlakové ztráty solárního výměníku

$$\Delta p_{sv} = \left(\lambda \cdot \frac{L}{d_1} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\rho_{sk} \cdot w^2}{2}$$

$$\Delta p_{sv} = \left(0,041 \cdot \frac{32,97}{0,018} + 4,75 \right) \cdot \frac{1032 \cdot 0,6^2}{2}$$

$$\Delta p_{sv} = 14\,819,93 \text{ Pa}$$

L ... délka potrubí solárního výměníku [m]

d_1 ... vnitřní průměr solárního výměníku [m]

5.7.6. Výpočet celkové tlakové ztráty solárního okruhu

$$\Delta p_c = \Delta p_{p\check{c}} + \Delta p_A + \Delta p_{sv} + \Delta p_k$$

$$\Delta p_c = 3\,998,48 + 3\,640,90 + 14\,819,93 + 600$$

$$\Delta p_c = 23\,059,31 \text{ Pa}$$

Δp_k ... tlaková ztráta slunečního kolektoru dle výrobce

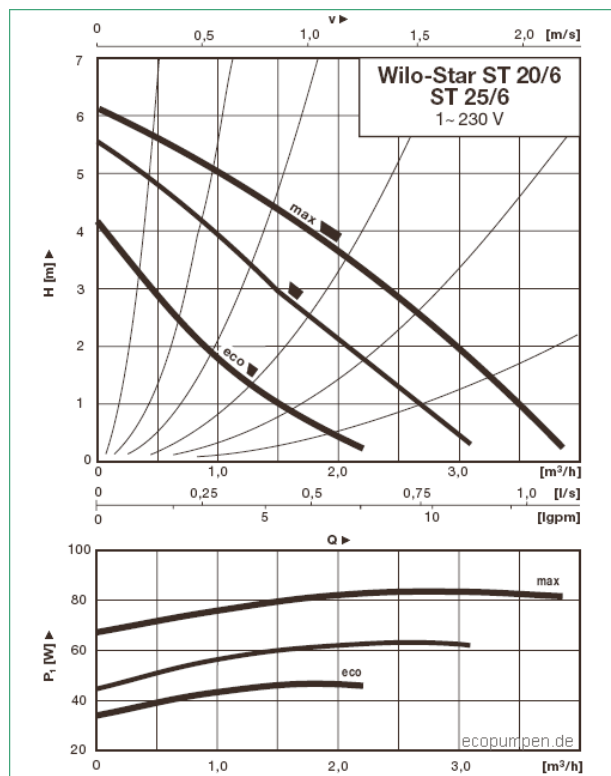
5.8. Návrh čerpadla solárního okruhu

Čerpadlo nám zabezpečuje požadovanou cirkulaci teplotnosného média v solárním okruhu. Na trhu je nepřehledné množství čerpadel. Nejčastější dělení je dle hodinového průtoku teplotnosného média a místní tlakové ztráty systému.

Pro náš případ, tedy pro požadovaný průtok $0,48 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a místní tlakové ztráty v systému, stanovené výše, jsem vybral čerpadlo s označením Wilo ST 25/6 180. Toto čerpadlo je dimenzováno na teplotu od 5 do 120 °C.



obr. 9 čerpadlo solárního okruhu



obr. 10 charakteristika čerpadla [13]

5.9. Návrh expanzní nádoby

Expanzní nádoba je opatřena tzv. vodní předlohou neboli rezervou. Ta slouží k tomu, aby při uvádění soustavy do provozu a během začátku provozu, při odplyňování teplotonosné kapaliny a odvzdušňování, vyrovnávala ztráty objemu v důsledku minimálních teplot v zimě, když je teplota média nižší než při plnění a aby byl zajištěn přetlak na nejvýše položených místech soustavy [9].

5.9.1. Výpočet objemu kapaliny v solárním okruhu

$$V_A = V_K \cdot z + V_P \cdot l_{p\check{c}} + V_{sv} \cdot l_{sv}$$

$$V_A = 4,4.1 + 0,314.10,5 + 0,314.32,97$$

$$V_A = 18,06 \text{ l}$$

V_K ... vodní objem kolektoru [$l \cdot m^{-1}$]

z ... počet kolektorů [-]

V_P ... vodní objem 1 m trubky solárního potrubí [$l \cdot m^{-1}$]

$l_{p\check{c}}$... délka přímých částí potrubí [m]

V_{sv} ... vodní objem 1 m trubky solárního výměníku [$l \cdot m^{-1}$]

l_{sv} ... délka solárního výměníku [m]

5.9.2. Výpočet bezpečnostního množství vody

$$V_V = 0,015 \cdot V_A$$

$$V_V = 0,015.18.06$$

$$V_V = 0,2709 \text{ l} \rightarrow 2 \text{ l}$$

Opravný součinitel 0,015 je střední hodnotou doporučeného rozmezí, které se pohybuje od 0,01 až do 0,02.

Bezpečnostní množství vody vyšlo 0,2709 l, ale požadované minimum je stanoveno na 2l, tedy mnohonásobně výše.

5.9.3. Výpočet zvětšení objemu kapaliny při zahřátí

$$V_2 = \beta \cdot V_A$$

$$V_2 = 0,048.18,06$$

$$V_2 = 0,8669 \text{ l}$$

β ... součinitel objemové roztažnosti solární kapaliny [K^{-1}]

5.9.4. Výpočet přípustného koncového přetlaku

$$p_e = p_{si} - 0,01 \cdot p_{si}$$

$$p_e = 0,6 - 0,01 \cdot 0,6$$

$$p_e = 0,54 \text{ MPa}$$

p_{si} ... tlak na pojistném ventilu [MPa]

5.9.5. Výpočet přetlaku membránové expanzní nádoby

$$p_{ST} = 0,15 + 0,01 \cdot h_s$$

$$p_{ST} = 0,15 + 0,01 \cdot 4,1$$

$$p_{ST} = 0,19 \text{ MPa}$$

h_s ... vzdálenost expanzní nádoby od nejvyššího místa v solárním okruhu [m]

5.9.6. Výpočet jmenovitého objemu expanzní nádoby

$$V_N = \frac{(V_V + V_2 + z \cdot V_K) \cdot (p_e + 1)}{p_e - (p_{ST} + 1)}$$

$$V_N = \frac{(2 + 0,87 + 1 \cdot 4,4) \cdot (5,4 + 1)}{5,4 - (1,9 + 1)}$$

$$V_N = 18,61 \text{ l}$$

V určitých kritických případech se u střešních kolektorů může vypařit i celý objem kapaliny kolektorového pole, což se projeví otevřením pojistného ventilu.

V takovém případě musí být objem expanzní nádoby navýšen o odpovídající množství celého kolektorového pole [9].

$$V_{N,C} = V_N + V_K$$

$$V_{N,C} = 18,61 + 4,4$$

$$V_{N,C} = 23,01 \text{ l}$$

Expanzní nádoba je dimenzována tedy tak, aby zachytila celý objem teplonosného média v solárním okruhu i s jeho případným odpařením. Dle vypočteného objemu a tlaku jsem zvolil expanzní nádobu typu AG25S o objemu 25 l a přetlaku 0,25 MPa [14].



obr. 11 expanzní nádoba

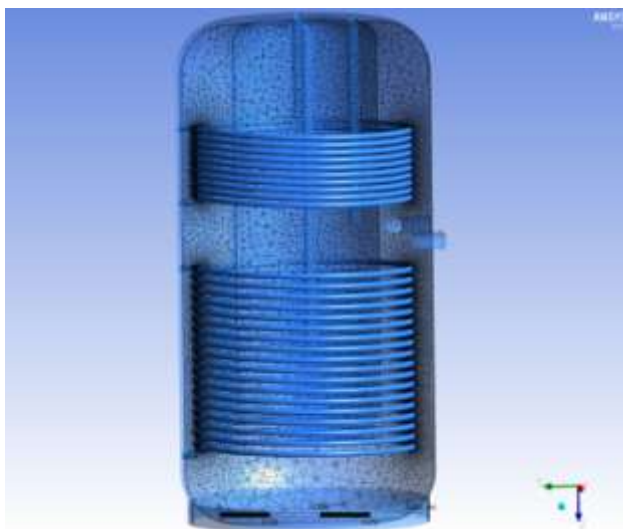
5.10. Stanovení doby ohřevu vody v akumulční nádobě dle programu ANSYS R14

Pro ověření výpočtu z kapitoly 5.4.1.1. , kdy jsme stanovovali potřebný čas k ohřátí vody na požadovanou teplotu , jsem vytvořil simulační model, kde jsme dle vstupních parametrů a vytvořeného 3D modelu akumulční nádrže simulovali nahřívání vody na požadovanou teplotu.

Výsledný výpočet byl tak složitý, že ho nebylo možno provést i na nejvýkonnějším počítači v našem institutu. Proto ho bylo nutné zjednodušit a simuluje se tak jen nahřívání konstantního objemu, tedy 600 litrů vody v akumulční nádobě bez odběrů. Dále zde nejsou uvedeny všechny vstupy a výstupy, protože nebyly k zjednodušené verzi výpočtu zapotřebí.

5.10.1. Vytvoření výpočtové sítě

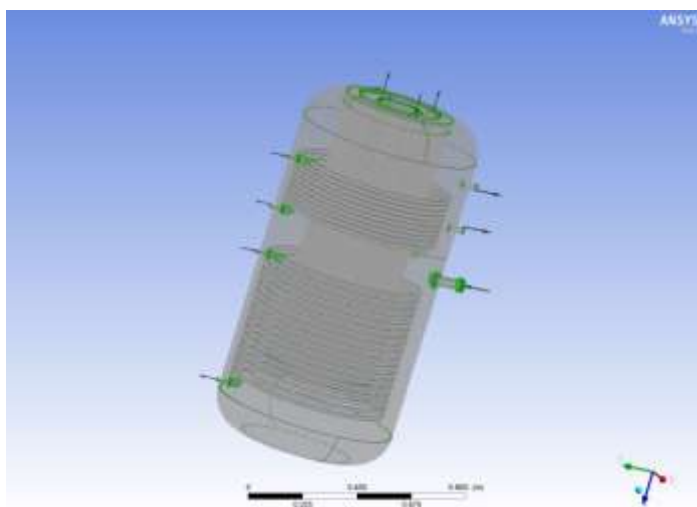
Prvním krokem celé simulace bylo meshování neboli navržení výpočtové sítě, která nám pomáhá upravit podmínky výpočtu, jako jsou zhuštění sítě u topných hadů, či okrajů akumulční nádoby (viz obr. 12)



obr. 12 návrh výpočtové sítě

5.10.2. Nastavení vstupních a výstupních parametrů

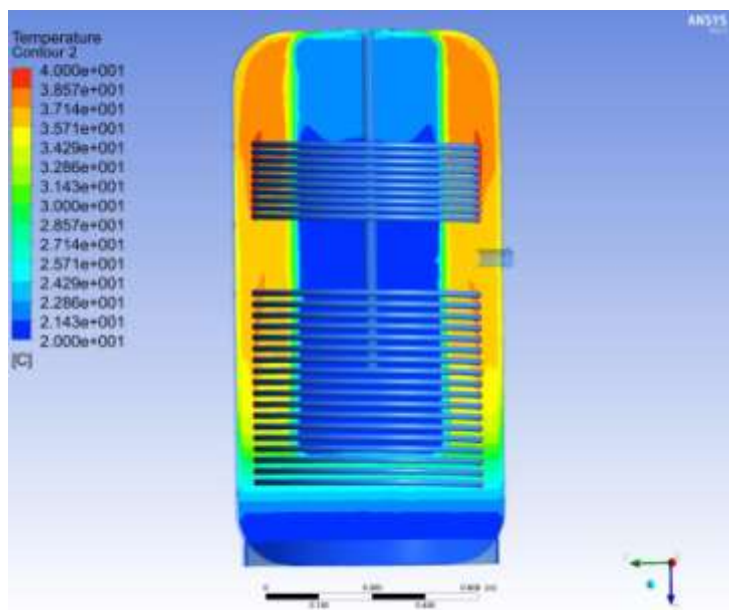
Poté co jsem vytvořil výpočtovou síť, jsem musel zadat vstupní a výstupní podmínky, jako jsou například vstupní teplota vody a Solarenu, vlastnosti těchto látek, vlastnosti materiálu akumulční nádoby a mnoho dalších parametrů.



obr. 13 náhled obrazovky při zadávání parametrů

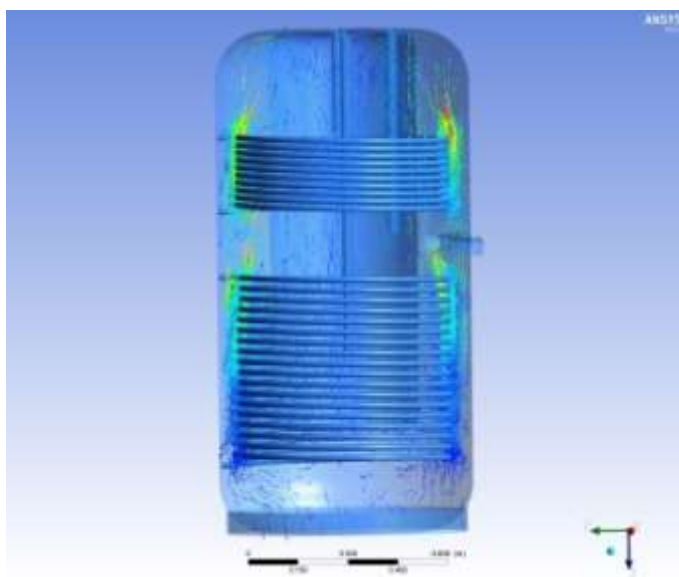
5.10.3. Průběh výpočtu – ohřev nádoby

V náhledu níže vidíme průběh ohřevu akumulční nádoby v čase 15 minut, tedy asi v polovině celkové doby ohřevu.



Obr. 14 průběh teplot v polovině doby ohřevu

5.10.4. Průběh výpočtu – vektory rychlosti



Obr. 15 vektory rychlosti

5.10.5. Zhodnocení výsledků

Díky simulaci v programu ANSYS R14 jsme zjistili, že při zadaných vstupních parametrech je možno nahřát vodu v akumulární nádobě na teplotu 55 °C za dobu menší než 30 minut, což se shoduje s návrhem doby ohřevu v kapitole 5.4.1.1. V tabulce níže jsou uvedeny doby ohřevu pro jednotlivé části akumulární nádoby.

	Objem [l]	τ [min]
Solární systém	<i>250</i>	<i>25</i>
Kotel	<i>150</i>	<i>12</i>
Kotel	<i>200</i>	<i>22</i>

tab. 14 doba ohřevu jednotlivých částí akumulární nádoby

6. ENVIRONMENTÁLNÍ ZHODNOCENÍ

Moderní energetické zdroje musí respektovat stále se zpřísnující požadavky z hlediska vlivu na životní prostředí. V poslední době se objevil i trend zohledňující produkci CO_2 . Tento trend je důsledkem mezinárodních závazků, které požadují omezování podílu uhlíku z fosilních paliv využívaného pro získávání tepla a elektrické energie.

Environmentální přínos projektu spočívá ve snížení produkovaných znečišťujících látek do ovzduší, jejímž producentem byl kotel na hnědé uhlí.

6.1. Stanovení emisí produkovaných látek

Dle přílohy č.2 k vyhlášce č. 205/2009 Sb., jsem provedl výpočet množství vypouštěných znečišťujících látek dle následující rovnice.

$$E_z = E_f \cdot (M_{TV} + M_{VYT}) [kg.rok^{-1}]$$

$$E_f \dots \text{emisní faktor } [kg.t^{-1}]$$

$$M_{TV} \dots \text{hmotnost spáleného paliva pro ohřev vody } [t]$$

$$M_{VYT} \dots \text{hmotnost spáleného paliva pro vytápění objektu } [t]$$

Snížení emisí po provedení úsporných opatření

Výpočty jsou provedeny pro úsporu paliva 7 854 kg, jímž bylo docíleno díky zavedeným energetickým úsporám.

$$E_{TZL} = 1,9 \cdot (0,945 + 6,909)$$

$$E_{TZL} = 14,93 kg.rok^{-1}$$

Emisní faktory pro jednotlivé složky jsou uvedeny ve stejné vyhlášce jako předešlý výpočet. Jako zdroj je použit kotel na pevná paliva spalující tříděné hnědé uhlí o výkonu menším jak 3 MW [15].

	Emisní faktor [$kg \cdot t^{-1}$]	Emise [$kg \cdot rok^{-1}$]
<i>TZL</i>	<i>1,9</i>	<i>14,93</i>
<i>SO₂</i>	<i>19,0</i>	<i>142,32</i>
<i>CO</i>	<i>5,0</i>	<i>39,27</i>
<i>NO_x</i>	<i>3,0</i>	<i>23,56</i>
<i>CO₂</i>	<i>360,0</i>	<i>2 827,44</i>
<i>OL</i>	<i>1,29</i>	<i>10,13</i>
<i>CELKEM</i>		<i>3057,65</i>

tab. 15 přehled nejběžnějších emisí

Z výpočtů vyplývá, že energetickými úsporami snížíme spotřebu paliva o 7 854 kg a tím i emise o více jak 3 000 kg ročně.

7. ZÁVĚR

V diplomové práci jsem se zabýval návrhy úspor energie pro rodinný dům.

Základem bylo stanovení tepelných ztrát domu. Po jejich stanovení jsem se zabýval návrhem úsporných opatření, jako jsou výměna oken a dveří, zateplení okolních zdí a zateplení podlah tak, aby tyto ztráty byly co možná nejmenší. Těmito úpravami se mi podařilo snížit tepelné ztráty o třetinu, což má za následek i výraznou úsporu paliva, která se pohybuje okolo 8 tun za rok a s tím spojené snížení emisí o více jak 3 tuny ročně. Cena úsporných opatření je přes 400 tisíc korun a vzhledem k úspoře paliva můžeme počítat s návratností okolo 17 let.

Dále jsem měl za úkol navrhnout solární systém, který by pro obyvatele objektu nahříval teplou vodu. Dle zadaných hodnot jsem vybral plochý kolektor s označením SUNTIME 2.4., který je dimenzován tak, aby byl schopen pokrýt spotřebu teplé vody od dubna až do září. Cena celého systému se pohybuje okolo 130 tisíc korun, přičemž roční úspora energie je okolo 3 800 kWh ročně. Vzhledem k původnímu zdroji, tedy automatickému kotli na hnědé uhlí, ušetříme 5 620 Kč za rok. Návratnost systému se pohybuje okolo 23 let, zde ale můžeme přihlédnout k tomu, že lze zažádat o dotaci na ministerstvu životního prostředí, čímž by se nám návratnost mohla snížit až na polovinu, tedy na necelých 12 let.

V konstrukční části diplomové práce jsem se zabýval návrhem akumulční nádoby, která by se dala implementovat k těmto úsporným opatřením. Je tedy vytápěna dvěma topnými okruhy, solárním a kotlovým. Objem nádoby je 600 l, přičemž spodní část (250 l) nahřívá solární systém a horní část (200 l) nahřívá automatický kotel na tuhá paliva. V nádobě je implementovaná nádrž o objemu 150 l, která je určena jen pro ohřev teplé vody pro účely osobní hygieny. Po výpočtu byly stanoveny základní parametry akumulční nádrže, podle nichž byl následně zkonstruován výsledný model a výkres této nádoby.

V závěru práce jsem využil znalosti programu ANSYS R14 a ověřil správnost výpočtu ohřevu vody v akumulční nádobě. Zde jsme simuloval průběh ohřevu, a čas, za který dokážeme za zadaných podmínek tuto nádobu nahřát na požadovanou teplotu.

Simulace potvrdila, že dokážeme za zadaných podmínek nahřát akumulční nádobu na teplotu 55 °C za čas pohybující se okolo 30 minut.

Všechna navržená opatření se tedy osvědčila a dá se říci, že i při návratnosti 17 let jsou velmi vhodná.

Na závěr, bych chtěl říci, že navržená opatření byla na objekt i implementována. Tedy všechny úspory a ceny nejsou orientační, ale velmi se přibližují skutečnému stavu. Taktéž solární systém je v tomto objektu již nainstalován a solární zisk se opět přibližuje skutečnému stavu.

SEZNAM LITERATURY

LITERATURA

- [1] KAMINSKÝ, Jaroslav a Mojmír VRTEK. Obnovitelné zdroje energie. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 1998, 96 s. ISBN 80-707-8445-8
- [2] CIHELKA, Jaromír a Mojmír VRTEK. Solární tepelná technika. 1. vyd. Praha: T. Malina, 1994, 203 s. ISBN 80-900-7595-9.
- [3] MURTINGER, Karel a Jan TRUXA. Solární energie pro váš dům. 2. vyd. Brno: ERA, 2006, vi, 92 s. 21. století. ISBN 80-736-6076-8.
- [4] NOSKIEVIČ, J. Hydromechanika. Ostrava: VŠB - TU, 1986, 130 s.
- [5] BLAHOŽ, Vladimír. Základy sdílení tepla. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1996, 109 s. ISBN 80-902-0011-7.
- [6] KADLEC, Zdeněk. Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009, 100 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-061-6.
- [7] TURNER, By Wayne C. Energy management handbook. 3. ed. Lilburn, Ga: Fairmont Press, 1997, 100 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 01-372-8098-X.
- [8] MORAN, Michael J a Howard N SHAPIRO. Fundamentals of engineering thermodynamics: SI version. 5th ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2006, p. cm. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 04-700-3037-2.
- [9] REMMERS, Karl-Heinz a Howard N SHAPIRO. Velká solární zařízení: úvod k navrhování a provozu. 1. vyd. Brno: ERA group, 2007, 315 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7366-110-6.

INTERNETOVÉ ODKAZY

- [10] <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/139-porovnani-nakladu-na-vytapani-podle-druhu-paliva>
- [11] <http://www.regulus.cz/cz/akumulacni-nadrze-s-ohrevem-vody>
- [12] <http://www.hqline.com/docs/Solaren.pdf>
- [13] <http://www.ecopumpen.de/wilo/wilo-star-st-solar/wilo-star-st-256.htm>
- [14] <http://www.solar-eshop.cz/p/expanzni-nadoba-r8-in-line-solarni-12-40-l-6-bar-fixnimembrana/>
- [15] http://www.ekonoviny.cz/eko/EKO_CD33_444484/dokumenty/prilohy-prirucky/cast-d/Priloha_D_014.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

- obr. 1 přehled úspor dle nejpoužívanějších zdrojů
- obr. 2 akumulční kolektor
- obr. 3 plochý kolektor
- obr. 4 energetická bilance pro jednotlivé měsíce
- obr. 5 náklady na ohřev vody dle různých zdrojů
- obr. 6 akumulční nádoba
- obr. 7 schéma zapojení systému
- obr. 8 návrh akumulční nádoby
- obr. 9 čerpadlo solárního okruhu
- obr. 10 charakteristika čerpadla
- obr. 11 expanzní nádoba

obr. 12	návrh výpočtové sítě
obr. 13	náhled obrazovky při zadávání parametrů
obr. 14	průběh teplot v polovině doby ohřevu
obr. 15	vektory rychlosti

SEZNAM TABULEK

tab. 1	vlastnosti materiálů
tab. 2	vlastnosti nových materiálů
tab. 3	zhodnocení tepelných ztrát
tab. 4	náklady za provedení energetických úspor
tab. 5	skutečné solární záření dopadající na plochu dané orientace pro jednotlivé měsíce
tab. 6	vlastnosti kolektoru
tab. 7	výpočtové vlastnosti kolektoru
tab. 8	redukováná teplota v jednotlivých měsících
tab. 9	účinnost kolektoru v jednotlivých měsících
tab. 10	měrný tepelný zisk kolektoru v jednotlivých měsících
tab. 11	energetická bilance kolektoru v jednotlivých měsících
tab. 12	náklady na pořízení solárního systému
tab. 13	vlastnosti akumulční nádoby
tab. 14	doba ohřevu jednotlivých částí akumulční nádoby
tab. 15	přehled nejběžnějších emisí

SEZNAM PŘÍLOH

- A charakteristika kolektoru SUNTIME 2.4.
- B účinnost kolektoru SUNTIME 2.4. v jednotlivých měsících
- C půdorys objektu
- D venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit
- E tepelná bilance
- F emisní faktory
- G výpočtová síť
- H simulace nahřívání akumulční nádoby
- CH vektory rychlosti

SEZNAM VÝKRESŮ

DP-2013-001 AKUMULAČNÍ NÁDOBA

DP-2013-002 KUSOVNÍK

PŘÍLOHY